

Fronteras de eficiencia en el sector de distribución  
de energía eléctrica: la experiencia sudamericana  
Martín Rodríguez Pardina, Martín Rossi y Christian Ruzzier  
Texto de Discusión N° 15  
ISBN 987-519-055-1  
Diciembre 1999

CEER  
Centro de Estudios Económicos de la Regulación  
Instituto de Economía, Universidad Argentina de la Empresa  
Chile 1142, 1° piso  
(1098) Buenos Aires, Argentina  
Teléfono: 54-11-43797693  
Fax: 54-11-43797588  
E-mail: [ceer@uade.edu.ar](mailto:ceer@uade.edu.ar)

(Por favor, mire las últimas páginas de este documento por una lista de los Textos de Discusión y de la Working Paper Series del CEER e información concerniente a suscripciones).

El Centro de Estudios de Economía de la Regulación (CEER), es una organización dedicada al análisis de la regulación de los servicios públicos. El CEER es apoyado financieramente por el Banco Mundial, los Entes Reguladores de Telecomunicaciones y Electricidad de la República Argentina, y la Universidad Argentina de la Empresa (Buenos Aires), donde el CEER tiene su sede.

**Autoridades del CEER:**

Lic. Enrique Devoto, Vicepresidente Primero Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE)-Dr. Roberto Catalán, Presidente Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC), Dr. Antonio Estache, Instituto para el Desarrollo Económico del Banco Mundial (IDE-BM), Dr. César Marzagalli, Rector Universidad Argentina de la Empresa (UADE), Dr. Omar Chisari, Director Instituto de Economía (UADE).

Director Ejecutivo: Dr. Martín Rodríguez Pardina

Investigadores: Lic. Gustavo Ferro, Lic. Martín Rossi.

Ayudante de Investigación: Lic. Christian Ruzzier.

CEER Serie de Textos de Discusión  
Fronteras de eficiencia en el sector de distribución de energía eléctrica: la experiencia  
sudamericana

Martín Rodríguez Pardina, Martín Rossi y Christian Ruzzier

Texto de Discusión N° 15

Diciembre 1999

JEL N°: L5

**Resumen:** Los objetivos de este trabajo son básicamente dos: comparar la eficiencia relativa de las empresas del sector de distribución de energía eléctrica en América del Sur, y realizar un análisis de consistencia entre los distintos enfoques usualmente utilizados para medir la eficiencia. El modelo estimado considera un único producto (clientes) y seis variables entre insumos y características ambientales (área de servicio, ventas, estructura del mercado, kilómetros de redes de distribución, empleados de distribución y capacidad de transformación). La información sobre estas variables se obtuvo de la base de datos confeccionada por CIER para el ejercicio 1994. Este modelo se encuentra en línea con la literatura previa en la materia. Se ha encontrado que, en líneas generales, se cumplen las condiciones de consistencia.

**Abstract:** The main goals of this paper are basically two: to compare the relative efficiency of the firms in the electricity distribution sector in South America, and to perform a consistency analysis on the different approaches usually used to measure efficiency. The estimated model considers a single output (customers) and six variables standing for inputs and environmental characteristics (service area, sales, market structure, mains kilometres of distribution, number of employees and transformer capacity). Information on these variables comes from the CIER database for the accounting year ending in 1994. This model is in line with the previous literature on the subject. It has been found that, in general, the consistency conditions are met.

Pertenencia profesional de los autores: Martín A. RODRÍGUEZ PARDINA, Centro de Estudios Económicos de Regulación, UADE, Argentina. E-mail: [marp@uade.edu.ar](mailto:marp@uade.edu.ar)

Martín A. ROSSI, Centro de Estudios Económicos de Regulación, UADE, Argentina. E-mail: [mrossi@uade.edu.ar](mailto:mrossi@uade.edu.ar)

Christian A. RUZZIER, Centro de Estudios Económicos de Regulación, UADE, Argentina. E-mail: [cruzzier@uade.edu.ar](mailto:cruzzier@uade.edu.ar)

CEER

Centro de Estudios Económicos de la Regulación

Instituto de Economía, Universidad Argentina de la Empresa

Chile 1142, 1° piso

(1098) Buenos Aires, Argentina

Teléfono: 54-11-43797693

Fax: 54-11-43797588

E-mail: [ceer@uade.edu.ar](mailto:ceer@uade.edu.ar)

# **Fronteras de eficiencia en el sector de distribución de energía eléctrica: la experiencia sudamericana**

**Martín A. RODRÍGUEZ PARDINA, Martín A. ROSSI y Christian A. RUZZIER<sup>1</sup>**

## **I. Introducción**

Los objetivos de este trabajo son básicamente dos: comparar la eficiencia relativa de las empresas del sector de distribución de energía eléctrica en América del Sur y realizar un análisis de consistencia entre los distintos enfoques usualmente utilizados para medir la eficiencia.

Siguiendo el proceso iniciado por Chile a comienzos de los ochenta, la mayoría de los países de Sudamérica han implementado fuertes transformaciones en sus sectores eléctricos que incluyen tanto reestructuración como privatización de los monopolios estatales prevalecientes. Como resultado de estos procesos se ha dado un fuerte cambio en el papel del Estado que ha pasado de productor y propietario de empresas a regulador de aquellas etapas que constituyen monopolio natural (transmisión y distribución).

En este nuevo rol de regulador, la comparación de eficiencia relativa de distintos monopolios geográficos aparece como un instrumento potencialmente valioso para reducir la asimetría de información que caracteriza la relación regulador-empresa. Esto ha sido reconocido en muchos de los procesos de reforma donde la separación horizontal de empresas distribuidoras y transportistas constituyó un ingrediente importante de las transformaciones.

Sin embargo, para ser de utilidad en el proceso regulatorio esta herramienta precisa de dos condiciones. Por un lado se requiere de un conjunto amplio de empresas comparables e información detallada sobre las mismas. En este sentido el esfuerzo del CIER en la construcción de una base de datos regional es un aporte fundamental para el desarrollo de la regulación en el sector eléctrico. Pero esta disponibilidad de datos si bien necesaria dista de ser una condición suficiente. Se debe además contar con técnicas adecuadas que permitan analizar en detalle la información disponible en referencia a un marco conceptual adecuado. Nuestro objetivo en este trabajo se enmarca en esta dirección procurando analizar las distintas metodologías disponibles a fin de contribuir al desarrollo de instrumentos que permitan una regulación eficiente de las empresas del sector.

La estructura del trabajo es la siguiente. En la sección II se comparan los distintos métodos de estimación, mientras que en la sección III se enuncian las condiciones de consistencia. A continuación, se formula el modelo teórico para la estimación, y se resumen los distintos modelos encontrados en la literatura (sección IV). La sección V presenta los datos y las estimaciones econométrica y de programación matemática, en tanto la sección VI analiza las condiciones de consistencia enunciadas en la sección III. Finalmente, en la sección VII, se presentan las conclusiones.

## **II. Una comparación de los distintos métodos de estimación**

---

<sup>1</sup> Centro de Estudios Económicos de Regulación, UADE, Argentina

La eficiencia productiva es la habilidad de la firma para producir un producto a un costo mínimo. Para alcanzar el mínimo costo la firma debe utilizar sus insumos de la manera más eficiente (eficiencia técnica) y, además, escoger la combinación de insumos correctamente, dado el precio relativo de los mismos (eficiencia en la asignación). Esto es, la eficiencia productiva requiere de ambas, la eficiencia técnica y la eficiencia en la asignación. Por lo tanto, la ineficiencia productiva va a tender a ser más alta que la ineficiencia técnica. De allí se desprende que una correcta comparación de los distintos métodos de estimación requiere que éstos se refieran al mismo concepto de eficiencia.

En los últimos 30 años, y a partir del trabajo pionero de Farrell (1957), al menos cuatro enfoques han sido desarrollados en el afán por medir la eficiencia relativa (con respecto a la empíricamente definida mejor práctica actual). Estos son el enfoque no paramétrico de programación matemática (también conocido con el nombre de *Data Envelopment Analysis*, DEA) y tres enfoques paramétricos: frontera paramétrica determinística (FPD), frontera paramétrica estocástica (FPE), y, si los datos se encuentran en formato de panel, fronteras sin supuestos acerca de la distribución de la ineficiencia (FSS). Entre otras cosas, estos enfoques difieren en la presencia o no de error aleatorio y en la determinación o no de una forma funcional a priori sobre la tecnología.

En líneas generales, los estudios de fronteras tecnológicas pueden ser clasificados de acuerdo a la forma en que la frontera es especificada y estimada. La especificación se refiere a si la frontera es calculada a partir de una función de producción o de una función de costos. Una función de producción muestra las cantidades producidas como función de los insumos utilizados, mientras que una función de costos muestra el costo total de producción como función del nivel de producto y el precio de los insumos.

Al momento de elegir entre estimar una función de producción o una función de costos resulta importante tener en cuenta las particularidades del sector. Una característica importante de los servicios públicos regulados, por ejemplo, es que, en general, las empresas se encuentran obligadas a proveer el servicio a las tarifas prefijadas. Es decir, las empresas están obligadas a satisfacer la demanda, no pudiendo escoger el nivel de producto a ofertar. Dado que el producto es exógeno, la empresa maximiza beneficios simplemente minimizando los costos de producir un nivel dado de producto.

Una ventaja adicional proveniente de utilizar funciones de costos, independientemente de si las empresas del sector analizado están o no reguladas, está ligada a la flexibilidad de las primeras para adaptarse a situaciones donde la firma produce más de un producto. Asimismo, la estimación de fronteras de producción brinda información sobre ineficiencia técnica, pero no de ineficiencia en la asignación, mientras que la estimación de fronteras de costos brinda información del costo adicional en el que se incurre debido tanto a ineficiencias técnicas como asignativas. Sin embargo, si se desea obtener estimaciones separadas de ambos tipos de ineficiencia es necesario formular supuestos adicionales.

Contra estos argumentos que favorecen la estimación de fronteras de costos en esta clase de industrias, se oponen otros, tanto teóricos como prácticos. Dentro de estos últimos sobresale lo difícil que es obtener información sobre los precios de los insumos. Más aún, la estimación de fronteras de costos implica la utilización de variables medidas en unidades monetarias (además del precio de los insumos es necesario tener datos de los costos), lo cual puede ser un problema serio si lo que se desea es realizar comparaciones internacionales. Las funciones de producción,

en cambio, sólo requieren de variables medidas en unidades físicas y, por lo tanto, homogéneas (o, mejor dicho, más homogéneas) entre los distintos países.

Como argumento teórico se puede agregar que cuando la propiedad se encuentra en manos del sector público las empresas, en general, no persiguen la maximización del beneficio como objetivo principal. Más aún, en este tipo de empresas los precios pueden no encontrarse disponibles o simplemente no ser confiables (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978).

Desde el punto de vista de la estimación, tanto las fronteras de costos como las de producción pueden ser estimadas con herramientas estadísticas o de programación matemática. Los métodos no estadísticos (DEA) utilizan técnicas de programación lineal. En su forma usual, las firmas eficientes son aquellas para las cuales no hay otra firma o combinaciones lineales de firmas que produzcan más de cada producto (dados los insumos) o utilicen menos de cada insumo (dados los productos). La principal ventaja del enfoque no paramétrico es que no se impone ninguna forma funcional *a priori* sobre los datos. Una desventaja es que utiliza para la estimación de la frontera sólo un subconjunto de los datos disponibles, mientras que el resto de las observaciones es ignorado. Además, el DEA estima la frontera eficiente sin realizar ningún supuesto acerca de la forma de la distribución del término de error. Las estimaciones, por lo tanto, no poseen propiedades estadísticas y el testeo de hipótesis resulta imposible. Los modelos paramétricos, por su parte, si bien permiten el testeo de hipótesis, pueden llegar a estar denominando ineficiencia a lo que en realidad es una mala especificación del modelo.

Un aspecto que es importante resaltar es que las medidas de eficiencia derivadas del DEA pueden ser muy sensibles al número de variables incluidas en el modelo. A medida que la relación entre variables (explicativas más explicadas) y tamaño de la muestra aumenta, la habilidad del DEA para discriminar entre las firmas disminuye significativamente, ya que se vuelve más probable que una determinada firma encuentre algún conjunto de ponderaciones de productos e insumos que la haga aparecer como eficiente (Yunos y Hawdon, 1997). Esto es, muchas firmas pueden ser consideradas 100% eficientes no porque dominen a otras firmas, sino simplemente porque no hay otras firmas o combinaciones de firmas con las que puedan ser comparadas en tantas dimensiones.

Una vez decidido qué tipo de frontera se va a estimar, de costos o de producción, y la técnica de estimación, el siguiente paso es determinar si a dicha frontera se la va a considerar determinística (DEA y FPD) o estocástica (FEP). Si la frontera de la actividad es determinística, todas las empresas comparten la misma frontera de costos y de producción, y todas las discrepancias entre el comportamiento de las firmas individuales y la frontera son atribuidas a ineficiencias, ignorándose la posibilidad de que la performance de una empresa pueda ser afectada no sólo por ineficiencias en el manejo de los recursos, sino además por factores que se encuentran totalmente fuera de su control (por ejemplo, condiciones climáticas adversas). Una desventaja adicional de los enfoques determinísticos es que son muy sensibles a la presencia de *outliers*. Una única observación errante (quizás debido simplemente a errores de medición) puede tener profundos efectos en las estimaciones. Más aun, este problema de la observación errante no puede ser solucionado ampliando el tamaño de la muestra y lleva a la existencia de un sesgo hacia abajo en la medición de la eficiencia. Este sesgo va a estar presente tanto en las estimaciones del DEA como de la FPD. En el caso del DEA queda por resolver si este sesgo hacia abajo es mayor o menor que el sesgo hacia arriba generado cada vez que se incluye una nueva variable en el modelo.

Las estimaciones de fronteras determinísticas utilizan un término de error de una sola cola (*one-sided error*), lo cual implica que es posible definir de manera exacta el mínimo costo necesario para producir un determinado nivel de producto. Por lo tanto, el costo actual es simplemente el costo mínimo más un término de ineficiencia (que debe ser mayor o igual que cero, por definición). Claramente, el supuesto detrás de esto es que todos los eventos externos que puedan llegar a afectar la función de costos son los mismos (y con la misma intensidad) para todas las empresas.

A partir de los trabajos de Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y van de Broeck (1977), surgen las denominadas fronteras estocásticas, motivadas en la idea de que las desviaciones con respecto a la frontera pueden no estar enteramente bajo el control de la firma analizada. Este enfoque utiliza una mezcla de términos de error de una y dos colas (*one-sided and two-sided errors*). Esto es, dado un nivel de producto, existe un mínimo costo posible, pero este nivel mínimo es aleatorio y no exacto. La idea es que los eventos externos que afectan la función de costos se distribuyen normalmente (pudiendo la empresa enfrentarse a condiciones externas favorables o desfavorables, con una determinada probabilidad), en lugar de ser constantes. Una vez considerada la posibilidad de ruido estadístico, lo que resta es considerado ineficiencia. Esta descomposición es precisamente la naturaleza del problema de azar moral enfrentado por regulador sin información perfecta. Esto es, el regulador debe establecer qué parte de las diferencias observadas entre los costos operativos de las empresas se debe a ineficiencias y qué parte se debe a factores externos sobre los cuales las firmas no tienen control <sup>(1)</sup>.

Existen dos formas de estimar las fronteras estocásticas: mínimos cuadrados clásicos modificados (FPE-MC) y máxima verosimilitud (FPE-MV). Los estimadores MCC serán, en general, menos eficientes que los estimadores MV ya que estos últimos incorporan la información *a priori* acerca de la asimetría en la distribución del término de error. La ganancia de eficiencia obtenida utilizando MV en lugar de MCC es función del grado de *skewness* (asimetría) de la distribución del término de error, lo cual es un problema estrictamente empírico. Un aspecto positivo del enfoque FPE-MC es que el ranking de las empresas siempre será el mismo que el de los residuos de la función de costos, sin importar el supuesto que se haga acerca de la distribución del término de ineficiencia. Esto es, las empresas con costos bajos para un determinado conjunto de precios de insumos, cantidades de productos y otras variables ambientales serán siempre ranqueadas como más eficientes.

En general, los modelos de fronteras estocásticas se encuentran expuestos a 3 serios inconvenientes (Schmidt y Sickles, 1984). En primer lugar, las estimaciones del término de ineficiencia, a pesar de ser insesgadas, no son consistentes (la varianza nunca se hace cero sin importar que tanto aumente la muestra), lo cual es realmente un problema si se tiene en cuenta que el objetivo del trabajo es la estimación de las ineficiencias de las firmas de la muestra. En segundo término, la estimación del modelo y la separación de la ineficiencia del ruido estadístico requiere supuestos específicos acerca de la distribución de ambos términos. La distribución del término de ineficiencia más utilizada en los trabajos empíricos es la media-normal. Esta distribución impone que la mayor parte de las firmas sean casi completamente eficientes, aunque no hay ninguna razón teórica que impida que la ineficiencia se distribuya simétricamente (como usualmente se supone distribuido el término de error). Por último, puede ser incorrecto suponer que la ineficiencia es independiente de los regresores: si una firma conoce su nivel de ineficiencia, esto podría afectar sus elecciones de insumos.

Los problemas planteados anteriormente para las FPE son potencialmente solucionables utilizando datos de panel (FSS). La ventaja fundamental de utilizar datos de panel consiste en que permite una mayor flexibilidad en la construcción del modelo, sin necesidad de realizar ningún supuesto acerca de la distribución del término de error. En su lugar, FSS supone que la eficiencia de las empresas es constante a través del tiempo, mientras que el ruido estadístico tiende a compensarse a través del tiempo.

Básicamente, FSS puede ser derivado utilizando dos técnicas de estimación: el modelo de efectos fijos (FSS-F) y el modelo de efectos aleatorios (FSS-A). El modelo de efectos fijos estima la eficiencia a partir de una variable *dummy* para cada firma. En caso de no existir regresores invariantes en el tiempo, no es necesario suponer que los términos de ineficiencia son independientes de los regresores. Sin embargo, en presencia de atributos invariantes de las firmas que sean omitidos en el modelo, estos serán captados por los efectos fijos y confundidos con el término de ineficiencia. En el caso de existir regresores invariantes en el tiempo, una posibilidad consiste en suponer independencia entre las variables explicativas y la ineficiencia, y estimar un modelo de efectos aleatorios. En este caso, el procedimiento consiste en calcular una constante para cada firma promediando (a través del tiempo) los residuos de la estimación de panel. La firma con el residuo promedio más bajo es considerada la más eficiente, y las eficiencias de las demás firmas son calculadas relativas a esta referencia.

Resumiendo, el modelo de efectos fijos no requiere suponer que el término de ineficiencia es independiente de los regresores. El modelo de efectos aleatorios, por su parte, permite incluir en el modelo a regresores invariantes a través del tiempo, aunque al costo de tener que suponer que el término de ineficiencia es independiente de los regresores. Ambos modelos suponen que la ineficiencia es constante a través del tiempo, aunque este supuesto puede ser levantado.

### III. Condiciones de consistencia

Un problema al que se enfrentan los reguladores que desean aplicar empíricamente los estudios de fronteras radica en la cantidad de métodos que existen para estimar las medidas de eficiencia individuales de las firmas. El problema es aún más grave si los distintos enfoques revelan resultados inconsistentes entre sí. La pregunta surge por sí sola: ¿son empíricamente útiles los estudios de eficiencia?

Intentando contestar esta pregunta, Bauer et al. (1998) proponen un conjunto de condiciones de consistencia que las medidas de eficiencia derivadas de los diferentes enfoques deben cumplir para ser útiles a las autoridades regulatorias. Estas estimaciones deben ser consistentes en sus niveles de eficiencia, rankings e identificación de las mejores y peores empresas, deben ser consistentes a través del tiempo y con las condiciones en las que se desenvuelve la industria, y consistentes con otras medidas de performance utilizadas por los reguladores. Específicamente, las condiciones de consistencia a analizar en el presente trabajo son:

- (i) Las medidas de eficiencia generadas por los diferentes enfoques deben tener medias y desvíos estándar similares;
- (ii) Los diferentes enfoques deben ranquear a las empresas en un orden similar;



(iii) Los diferentes enfoques deben identificar, en general, a las mismas empresas como las “mejores” o “peores”; y

(iv) Las medidas de eficiencia deben ser razonablemente consistentes con otras medidas de desempeño.

Otras condiciones de consistencia mencionadas en el artículo de Bauer et al. (1998) no consideradas en este trabajo son:

(v) Las medidas de eficiencia individuales deben ser relativamente estables a través del tiempo, esto es, no deben variar significativamente de un año al otro;

(vi) Las distintas medidas deben ser razonablemente consistentes con los resultados que se esperan de acuerdo a las condiciones en la que se desenvuelve la industria. En el caso particular de las empresas reguladas, por ejemplo, se espera que las empresas reguladas con un mecanismo de precios máximos sean más eficientes que aquellas reguladas con un mecanismo de tasa de ganancia.

En líneas generales, las tres primeras medidas muestran el grado en el cual los diferentes enfoques son mutuamente consistentes, mientras que las restantes condiciones muestran el grado en el cual las medidas de eficiencia generadas por los distintos enfoques son consistentes con la realidad. Esto es, las últimas tres condiciones serían un “criterio externo” para evaluar a los distintos enfoques.

#### Resultados de estudios previos

Aunque existe una amplia literatura dedicada a la medición de la eficiencia en los sectores de servicios públicos, son pocos los estudios en los que se intenta comparar las medidas de eficiencia derivadas de los distintos enfoques. Entre estos últimos se encuentran Pollit (1995), Ray y Mukherjee (1995), y Burns y Weyman-Jones (1996). En los dos primeros trabajos se comparan medidas paramétricas y no paramétricas, mientras que Burns y Weyman-Jones comparan sólo medidas paramétricas.

Ray y Mukherjee (1995) aplican el DEA a una muestra de 123 empresas de electricidad, la misma muestra utilizada por Greene (1990), aunque este último utiliza el enfoque de fronteras estocásticas (bajo distintos supuestos de distribución del término de ineficiencia). De la comparación de ambos trabajos surge que los resultados del DEA son consistentes con la FPE cuando el término de ineficiencia sigue una distribución gamma o media-normal, aunque la consistencia se vuelve más frágil para otras distribuciones del término de ineficiencia.

Burns y Weyman-Jones (1996), por su parte, comparan los resultados los rankings de eficiencia provenientes del modelo de efectos aleatorios y del modelo de fronteras estocásticas. La correlación entre ambos rankings resultó igual a 0.395, rechazándose la hipótesis de correlación nula al 95% de significatividad. En favor de la consistencia entre los modelos, los autores muestran que los diferentes enfoques identifican a las mismas empresas como las menos o más eficientes.

Finalmente, Pollit (1995) compara los enfoques DEA, FPD y FPE para plantas de energía eléctrica, encontrando correlaciones que fluctúan entre 0.57 y 0.95. Según el autor, los resultados de la aplicación de las distintas metodologías revelan una relativamente alta correlación entre los rankings derivados de las diferentes técnicas, destacándose la muy alta correlación entre las dos

técnicas paramétricas. Sin embargo, las correlaciones correspondientes a los mismos enfoques pero aplicados al sector de plantas generadoras de base son más bajas que en el caso anterior.

La literatura es mucho más amplia en otros sectores, y los resultados son diversos (ver Bauer et al., 1998, para una discusión de estos resultados en el sector financiero). Un análisis detallado de las condiciones de consistencia, sin embargo, no se ha realizado hasta el momento para servicios públicos (el trabajo pionero en este aspecto es Bauer et al., y las condiciones de consistencias son aplicadas al sector financiero).

Una conclusión interesante es provista por Drake y Weyman-Jones (1996) quienes argumentan que los enfoques no paramétrico y estocástico proveen las cotas superior e inferior de las medidas de ineficiencia, aunque lamentablemente el rango de amplitud entre ambas cotas es muchas veces demasiado grande.

En este trabajo, para asegurar la comparabilidad, las cuatro técnicas utilizan el mismo concepto de eficiencia, la misma muestra de empresas, las mismas especificaciones de insumos y productos, y (para los métodos paramétricos) la misma forma funcional.

#### IV. El modelo teórico

##### Enfoques econométricos

La especificación teórica del modelo paramétrico es la siguiente:

$$Y = f(L, K, Z)$$

donde Y es el producto (número de clientes), L es el trabajo, K es el capital y Z es un vector i-dimensional de variables exógenas que permite la comparación entre firmas. La forma de la función de producción más utilizada es la Cobb-Douglas (Burns y Weyman-Jones, 1996, emplearon originalmente una función de costos translogarítmica, aunque posteriormente escogieron una especificación del tipo Cobb-Douglas debido a que resultaba más parsimoniosa), donde el término de ineficiencia entra en el modelo multiplicativamente (o aditivamente luego de aplicar logaritmos),

$$Y = A L^{\beta_1} K^{\beta_2} \prod_i Z_i^{\gamma_i} \exp^{\varepsilon}$$

Aplicando logaritmos naturales a ambos lados de la igualdad,

$$y = \alpha + \beta_1 L + \beta_2 K + \sum_i \gamma_i z_i + \varepsilon \quad (1)$$

donde  $\alpha$  es  $(\ln A)$ ,  $\beta_i$  y  $\gamma$  son parámetros, y es  $\ln(Y)$  y  $z_i$  es  $\ln(Z_i)$  y  $\varepsilon$  es el término de error. La parte sistemática del modelo determina el máximo producto asequible con un determinado conjunto de insumos y variables ambientales, y es lo que se conoce como la frontera. Conceptualmente, la función de producción define una frontera que envuelve a los niveles de producto técnicamente posibles asociados con distintas cantidades de insumos y diferentes características ambientales <sup>(2)</sup>.

Conceptualmente, todos los enfoques paramétricos calculan las medidas de eficiencia a partir de los residuos de una regresión. Esto es, la ineficiencia de una firma es un concepto “residual”. Se controla por la mayor cantidad variables posibles. Luego de ello, algunas compañías utilizan más insumos para producir el mismo nivel de producto que otras, y a eso se lo denomina ineficiencia.

Por lo tanto, la precisión de las medidas obtenidas depende del grado en que fue posible incluir en el modelo la mayor cantidad de variables relevantes. Dado que los residuos no sólo reflejan la eficiencia relativa de las empresas sino también los efectos de variables omitidas en el modelo, cuanto más bajo sea el  $R^2$  de la regresión, mayor será la posibilidad de que alguna variable importante haya sido omitida en la formulación del modelo.

En la siguiente subsección el objetivo es describir y discutir las especificaciones empíricas de algunos modelos presentados en la literatura, con aplicaciones en el sector de distribución de energía eléctrica.

### Estudios previos

Neuberg (1977), por ejemplo, describe cuatro actividades relacionadas pero distinguibles en la actividad de distribución de energía eléctrica. En primer lugar, la distribución propiamente dicha, que incluye el mantenimiento de equipos, instalaciones a los usuarios y despacho de carga. En segundo término, la lectura de medidores y facturación. La tercera actividad es la venta, incluyendo subactividades tales como la publicidad y, por último, la actividad administrativa.

Al especificar las variables de las que dependen los costos de las firmas distribuidoras de energía eléctrica, Neuberg sugiere cuatro variables explicativas: número de clientes servidos, total de KW/h vendidos, km de líneas de distribución y  $\text{km}^2$  de área de distribución. Burns y Weyman-Jones (1996) agregan algunas variables explicativas adicionales: la máxima demanda, que determina la capacidad total del sistema, la dispersión de los usuarios a través de la región de distribución, que determina la configuración del sistema, la capacidad de transformación, que afecta a las pérdidas de la red y la estructura de la demanda, que determina las diferentes capacidades a las que deben operar las líneas a diferentes horas.

El problema conceptual a resolver es cuál de estas variables es el producto, o bien si varias de ellas lo son. Neuberg descarta la posibilidad de tratar a las empresas del sector como multi-productoras, ya que a las variables anteriormente descriptas no es posible fijarles un precio y venderlas separadamente (por ejemplo, una vez que se adopta al número de clientes como producto, siendo su precio el ingreso anual promedio de la firma por cliente, los KW/h ya no pueden ser separadamente vendidos). Dado que las variables restantes no pueden ser consideradas productos (ni insumos por los cuales se paga un precio), pueden ser introducidas en el modelo como características específicas de las empresas que permiten realizar comparaciones entre ellas.

Lamentablemente los problemas no terminan aquí. En los enfoques paramétricos, la estimación de una función de costos del tipo Cobb-Douglas o translogarítmica (las más utilizadas en la literatura) requiere la información sobre el precio de todos los insumos, incluido el precio del capital. Sin embargo, esta información es muy difícil de obtener. Este problema es muy común en la literatura (ver Pollit, 1995 o Huettnner y Landon, 1977, ambos aplicados al sector de distribución de energía eléctrica), y el camino usual es la formulación arbitraria de una función de costos sin incluir en ella al precio del capital. Pollit estima la siguiente función de costos (se utiliza la notación del autor):

$$\text{DAC} = \alpha + \beta_1 \log \text{SALESC} + \beta_2 (\log \text{SALESC})^2 + \beta_3 \text{MAXRAT} + \beta_4 (\text{MAXRAT})^2 + \beta_5 \text{CUST} + \beta_6 \text{RESID} + \beta_7 \text{OGKMC} + \beta_8 \text{UGKMC} + \beta_9 \text{TRANSC} + \beta_{10} \text{WC} + \beta_{11} \text{AREA} + \beta_{12} \text{ODUM} + \beta_{13} \text{CDUM}$$

donde DAC es el costo de distribución, SALESC son las ventas por cliente, MAXRAT es la relación entre la demanda máxima y la promedio, CUST es el número de clientes, RESID es la proporción de las ventas residenciales y las ventas totales, OGKMC son los kilómetros de redes aéreas por cliente, UGKMC son los kilómetros de redes subterráneas por cliente, TRANSC es la capacidad de transformación por cliente, AREA es el área de servicio en kilómetros cuadrados, WC es el costo salarial por empleado, ODUM es una variable *dummy* relacionada con la propiedad (pública o privada) y CDUM es una variable *dummy* que adopta el valor 1 si la empresa es de UK y cero en los demás casos. Con la inclusión de dicha variable *dummy*, Pollit busca hacer una comparación internacional, aunque algo acotada, de la eficiencia productiva, ya que sólo incluye en su muestra datos de empresas de dos países: UK y USA <sup>(3)</sup>.

Huettner y Landon, por su parte, estiman la siguiente función de costos:

$$\text{DAC} = \alpha + \beta_1 \log \text{TCAP} + \beta_2 (\log \text{TCAP})^2 + \beta_3 \text{UTCAP} + \beta_4 (\text{UTCAP})^2 + \beta_5 \text{NTRANSC} + \beta_6 \text{RESIDC} + \beta_7 \text{COMMC} + \beta_8 \text{INDC} + \beta_9 \text{WC} + \text{GDUMs} + \text{HDUMs}$$

donde TCAP es la capacidad total por KW/h, UTCAP es demanda promedio en relación con la capacidad máxima, NTRANSC es el número de líneas de transformación por cliente, RESIDC son las ventas residenciales por cliente, COMMC son las ventas comerciales por cliente, INDC son las ventas industriales por cliente, WC es el costo salarial (\$/hora) de la firma, GDUMs son variables *dummy* geográficas y HDUM son *dummies* de propiedad.

En ninguno de los dos modelos, entre las variables ambientales utilizadas, han sido incluidas variables de calidad, ya que en general existen normas de calidad mínimas que las empresas deben cumplir. Si no hubiesen normas de calidad, el haber omitido dichas variables podría estar provocando que las empresas que operan con costos más bajos lo hiciesen no por ser más eficientes, sino porque la calidad del bien producido es inferior. En este caso, sería conveniente incluir, en la formulación del modelo, variables de calidad, tales como frecuencia y duración de los cortes de servicio, variaciones de tensión, etc. Las variables de calidad también deberían ser incluidas si, a pesar de existir normas de calidad, estas fuesen distintas entre las firmas. Este aspecto en particular resulta relevante si se trata de una comparación entre países.

#### Enfoque de programación matemática

La metodología del DEA, introducida por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), busca establecer cuáles unidades (empresas) de la muestra determinan una superficie envolvente o frontera eficiente o función de producción empírica. Las empresas que se encuentran sobre (determinan) la superficie son consideradas eficientes, mientras que las que se encuentran por debajo de la misma se consideran ineficientes, y su distancia a la frontera provee una medida de su (in)eficiencia relativa (pueden determinarse la reducción proporcional de los insumos y el aumento proporcional de los productos que llevarían a la empresa a ser eficiente).

Existen básicamente dos tipos de superficies envolventes (Ali y Seiford, 1993), las que se conocen como superficies de rendimientos constantes a escala (RCE) y de rendimientos variables a escala (RVE). Tal como sus nombres lo indican, un supuesto sobre el tipo de rendimientos a escala se encuentra asociado a la elección de una u otra superficie (elección implícita en la selección de un modelo particular de DEA).

El enfoque de programación matemática también permite considerar la posibilidad de que algunas variables se encuentren fuera del control de las empresas: son las llamadas variables ambientales. Éstas son particularmente relevantes en la distribución de energía eléctrica, en la que

varias variables pueden venir determinadas por la regulación, la geografía, etc. (Véase Pollitt, 1995; y Weyman-Jones, 1992).

Los modelos de DEA pueden tener una orientación determinada: (i) a la reducción de los insumos, o (ii) al aumento de los productos. Dadas las características peculiares de la industria que se analiza, en este trabajo se emplearán sólo modelos orientados a los insumos. En particular, se estimarán dos modelos orientados: el primero, suponiendo rendimientos constantes a escala (DEA-C); y el segundo, asumiendo rendimientos variables (DEA-V). En ambos casos, se considerará la existencia de variables ambientales.

La especificación teórica del modelo DEA-C consiste en un problema de optimización sujeto a restricciones como el siguiente:

$$\min \lambda$$

$$s.a \quad u \leq zU, zX \leq \lambda x, zE = e, z \in R_+^n.$$

Este problema da, como solución, la proporción ( $\lambda$ ) en la que podrían ser reducidos los insumos observados de la empresa que se está evaluando si se los empleara eficientemente.  $U$  es una matriz de  $n \times r$  de los productos de las empresas de la muestra (donde  $n$  es el número de empresas y  $r$  el número de productos).  $X$  es una matriz de  $n \times m$  de los insumos de las empresas de la muestra (donde  $m$  es el número de insumos considerados).  $E$  es una matriz de  $n \times s$  que contiene toda la información sobre las  $s$  variables ambientales de las  $n$  firmas.  $u$ ,  $x$  y  $e$  son los vectores de productos, insumos y variables ambientales observados, respectivamente, de la empresa que se quiere evaluar. Finalmente,  $z$  es un vector de parámetros de intensidad ( $z_1, \dots, z_n$ ), que permite la combinación convexa de los insumos y productos observados (a fin de construir la superficie envolvente).

Para obtener el segundo modelo, DEA-V, basta agregar la siguiente restricción al problema anterior (Seiford y Thrall, 1990):

$$\sum_{i=1}^n z_i = 1.$$

En la siguiente subsección, se revisan algunos estudios previos que arrojan luz sobre la elección de los insumos, los productos y las variables ambientales a ser incluidas en este análisis.

### Estudios previos

En un trabajo de 1992, Weyman-Jones utiliza un modelo de DEA para medir la eficiencia técnica en una muestra de 12 empresas eléctricas del Reino Unido en el período 1970-1 a 1988-9. El propósito de este estudio es examinar la posibilidad de establecer medidas de performance relativa para empresas no competitivas, y así facilitar la competencia por comparación. Weyman-Jones presenta dos modelos distintos, que se detallan a continuación:

Modelo W-J 1*Insumos:*

1. Número de empleados
2. Tamaño de la red (km)
3. Capacidad de transformación (MVA)

*Productos:*

1. Ventas residenciales (kWh)
2. Ventas comerciales (kWh)
3. Ventas industriales (kWh)
4. Demanda máxima (kW)

Modelo W-J 2*Insumo:*

1. Número de empleados

*Producto:*

1. Número de clientes

*Variables ambientales:*

1. Tamaño de la red (km)
2. Capacidad de transformación (MVA)
3. Ventas totales (kWh)
4. Demanda máxima (kW)
5. Densidad de población
6. Ventas industriales/Ventas totales (%)

En el primer modelo, la elección de productos e insumos sigue convenciones bien establecidas en la literatura empírica sobre costos en la distribución de electricidad. El segundo modelo sigue las sugerencias de Neuberger (1977). El rol de las variables ambientales es el de permitir una medición de la eficiencia productiva que explícitamente tenga en cuenta las diferencias en el ambiente en el que operan las empresas.

En otro trabajo, Hjalmarsson y Veiderpass (1992) [H+V] examinan la eficiencia productiva en la distribución eléctrica en Suecia, en el año 1985. Los autores estiman el siguiente modelo de DEA:

Modelo H+V*Insumos:*

1. Trabajo (horas)
2. Líneas de alta tensión (km)
3. Líneas de baja tensión (km)
4. Capacidad de transformación (kVA)

*Productos:*

1. Productos en alta tensión (MWh)
2. Productos en baja tensión (MWh)
3. Número de clientes de alta tensión
4. Número de clientes de baja tensión

Hjalmarsson y Veiderpass también estiman un segundo modelo en el que eliminan los productos 3 y 4; y un tercero, en el que eliminan los productos 1 y 2 (manteniendo 3 y 4). Pollitt (1995), por su parte, caracteriza la producción de servicios de distribución de la siguiente manera:

Modelo P*Insumos:*

1. Número de empleados
2. Capacidad de transformación (MVA)
3. Kilómetros de red

*Productos:*

1. Número de clientes
2. Ventas residenciales (MWh)
3. Ventas no residenciales (MWh)
4. Área de servicio (km<sup>2</sup>)
5. Demanda máxima (MW)

Los insumos 2 y 3 representan al factor capital, y el insumo 1, al factor trabajo. En otra sección de su trabajo, Pollitt calcula nuevas medidas de eficiencia suponiendo, alternativamente, que son variables ambientales: el insumo 3 y el producto 4; los dos anteriores más el producto 5; los tres anteriores más el insumo 2; y, por último, todas las variables menos el número de clientes.

## V. Datos y estimación

### Datos

Los datos brutos empleados en el presente trabajo se han obtenido del informe de la Secretaría General de la Comisión de Integración Eléctrica Regional (CIER), “Datos Estadísticos. Empresas Eléctricas. Año 1994” [CIER, 1996] <sup>(4)</sup>. La base de datos incluye información sobre gran cantidad de variables para una muestra de 91 empresas de energía eléctrica <sup>(5)</sup> en Sudamérica, correspondientes al ejercicio 1994. Los 10 países considerados en la muestra son: Argentina (5 empresas), Bolivia (8), Brasil (20), Chile (8), Colombia (13), Ecuador (11), Paraguay (1), Perú (13), Uruguay (1) y Venezuela (11).

A los efectos de la estimación, y de acuerdo a lo discutido en la sección anterior, se han seleccionado ocho variables de la base de datos de CIER, las que se detallan a continuación: ventas finales <sup>(6)</sup> (VENTAS, en MWh), proporción de clientes residenciales (una *proxy* de la estructura del mercado, ESTRUC), circuitos de distribución (RED, en km), transformadores de distribución (TRANSF, en kVA), área de servicio (AREA, en km<sup>2</sup>), número de clientes (CLIENT) y número de empleados en la función de distribución (TRAB). Debido a la escasez de datos de calidad, éstos no pudieron ser incluidos en el modelo.

Ante la falta de algunos datos para varias empresas, y el hecho de que algunas empresas no tenían actividades de distribución, la muestra con la que finalmente se realizaron las estimaciones se redujo a 53 empresas, con el siguiente detalle: Argentina (2 empresas), Bolivia (5), Brasil (14), Chile (4), Colombia (7), Ecuador (8), Paraguay (1), Perú (4), Uruguay (0) y Venezuela (8).

La Tabla 1 presenta un resumen de la muestra de 53 empresas finalmente utilizadas, en base a las variables escogidas:

Tabla 1  
Estadísticas descriptivas

Variable	Tamaño de la muestra	Media	Desvío Estándar
Ventas finales (MWh)	53	4183764	8704092
Clientes residenciales/Totales (tasa)	53	0.87	0.08
Circuitos de distribución (km)	53	303628	1131251
Transformadores de distribución (kVA)	53	1040077	2175250
Factor de carga (%)	44	60	13
Área de servicio (km <sup>2</sup> )	53	60797	186926
Número de clientes	53	624474	1061640
Número de empleados de distribución	53	911	1717

El modelo inicial a estimar es similar a la formulación W-J 2 de la sección IV. El modelo es el siguiente:

#### Modelo inicial

##### *Producto:*

1. Número de clientes

##### *Insumos y variables ambientales:*

1. Número de empleados
2. Ventas totales (MWh)
3. Estructura del mercado (%)
4. Kilómetros de red
5. Capacidad de transformación (kVA)
6. Área de servicio (km<sup>2</sup>)
7. Factor de carga (%)
8. PBI per cápita (dólares, 1995)

Las diferencias con el trabajo de Weyman-Jones (1992) consisten en la utilización de factor de carga <sup>(7)</sup> en lugar de demanda máxima y área en lugar de densidad. La variable PBI per cápita fue incluida para intentar captar las diferencias entre los países. Finalmente, la estructura del mercado es calculada como porcentaje de clientes residenciales, en lugar de ventas industriales.

#### Estimación econométrica

Al realizar comparaciones internacionales surge el inconveniente de tener que comparar unidades monetarias distintas (y muchas veces métodos contables distintos). Una posible solución sería estimar fronteras de producción, las cuales requieren solamente de unidades físicas (Yunos y Hawdon, quienes realizan una comparación internacional, estiman una función de producción). Esta es la solución aportada en el presente trabajo.

La primera etapa en la aplicación empírica consiste en identificar todas las que podrían llegar a influir en la función de producción. La determinación de cuáles variables finalmente formarán parte del modelo puede seguir una estrategia de ir de lo “general a lo específico”. Esta estrategia consiste en sobre-parametrizar el modelo incluyendo la mayor cantidad posible de variables, y luego ir simplificando de la siguiente manera: eliminar secuencialmente la variable menos significativa (siempre y cuando la menos significativa no sea significativa al 10%) reintroduciendo en cada paso las variables eliminadas en pasos anteriores para comprobar que siguen siendo no significativas (en caso contrario son reintroducidas en el modelo). Al finalizar esta tarea se obtiene un modelo donde todas las variables son estadísticamente significativas y donde, además, todas las variables eliminadas, en caso de ser individualmente reintroducidas, son no significativas.

Esta fue la estrategia utilizada para elegir el modelo final, el que luego será utilizado para realizar tanto las estimaciones paramétricas como no paramétricas. En un primer paso se descartó la variable factor de carga por ser la menos significativa (y no significativa al 10%). En las etapas subsiguientes (y por los mismos motivos) se descartaron las variables área, kilómetros de red y PBI per cápita. De esta forma, se obtuvo el modelo final:

#### Modelo final

##### *Producto:*

1. Número de clientes

##### *Insumos y variables ambientales:*

1. Número de empleados
2. Ventas totales (MWh)
3. Estructura del mercado (%)
4. Capacidad de transformación (kVA)



En este modelo todas las variables están expresadas en logaritmos naturales y son significativas al 10%. El  $R^2$  de la regresión de MCC es 0.95 y la estimación es robusta por heterocedasticidad.

#### Estimación no paramétrica

A los efectos de permitir la comparación de los resultados, se trabajó con el mismo modelo estimado mediante los métodos econométricos (*Modelo final*). Como se comentó en la sección IV, se estimaron dos modelos (uno para cada tipo de superficie envolvente), en los que se consideraron un producto (clientes totales), dos insumos (número de empleados, como insumo de trabajo; y capacidad de transformación, como insumo de capital), y dos variables ambientales (estructura de mercado -% de clientes residenciales- y ventas totales en MWh).

Esta clasificación de las variables está en concordancia con la práctica usual encontrada en la literatura aplicada al sector de distribución eléctrica. En particular, sigue los lineamientos trazados por Neuberger (1977) y retomados por Weyman-Jones (1992).

En cuanto a los resultados, se esperaba encontrar que los índices de eficiencia son menores en el modelo DEA-C que en el DEA-V; también debería ser el caso que las empresas que son consideradas eficientes en el primer modelo, lo sean en el segundo. Estos dos resultados son confirmados por los resultados. La media de las medidas de eficiencia de 0.740 y 0.785 para el DEA-C y el DEA-V, respectivamente.

Un dato que sobresale en los resultados con la metodología de programación matemática encontrados en este trabajo es la gran cantidad de empresas que son consideradas eficientes (22 y 29 en cada modelo). Es conocido el hecho de que a medida que disminuye el cociente variables/observaciones, la capacidad del DEA para discriminar entre empresas eficientes e ineficientes disminuye. En el presente trabajo se han empleado cinco variables y se contó con 53 observaciones, lo que, *a priori*, parecía un buen cociente. Parece claro que con más empresas, o con datos de panel, se obtendrían menos empresas eficientes.

## **VI. Análisis de las condiciones de consistencia**

Se han utilizado cuatro enfoques distintos para estimar las medidas de eficiencia: DEA con rendimientos constantes (DEA-C), DEA con rendimientos variables (DEA-V), enfoque paramétrico determinístico (FPD) y enfoque paramétrico estocástico (FPE) <sup>(8)</sup>.

A continuación se analizarán las condiciones de consistencia enunciadas en la sección III.

i) Comparación de las distribuciones de las medidas de eficiencia entre los distintos enfoques

La tabla 2 presenta las principales características de las distribuciones de las medidas de eficiencia generadas por los cuatro métodos utilizados.

Tabla 2

Enfoque	DEA-C	DEA-V	FPD	FPE
Media	0.740	0.785	0.502	0.736
Mediana	0.791	1.000	0.515	0.777
Desvío	0.271	0.274	0.162	0.193
Skewness	-0.405	-0.733	0.566	-0.338
Kurtosis	-1.481	-1.207	0.744	-0.813

Máximo	1.000	1.000	1.000	1.000
Mínimo	0.254	0.254	0.179	0.283
Muestra	53	53	53	53

Como era de esperar, la eficiencia promedio es mayor en el enfoque estocástico (73.6%) que en los enfoques determinísticos (68%). La comparación entre los enfoques paramétricos y no paramétricos arroja que estos últimos poseen una media mayor (76% contra 62%), probablemente reflejando el sesgo de disponer demasiadas variables en relación al número de observaciones.

## ii) Correlación entre los distintos rankings

La tabla 3 contiene los coeficientes de correlación de rankings de Spearman, los cuales muestran la relación existente entre cada ranking y los restantes.

Tabla 3

Enfoque	DEA-C	DEA-V	FPD	FPE
DEA-C	1.000	0.735**	0.438**	0.442**
DEA-V		1.000	0.184	0.188
FPD			1.000	0.996**
FPE				1.000

\* correlación significativamente distinta de cero a un nivel del 5%, dos colas.

\*\* correlación significativamente distinta de cero a un nivel del 1%, dos colas.

Todas las correlaciones son positivas y, excepto las que relacionan al DEA-V con los enfoques paramétricos, significativamente distintas de cero al 1%. Esto es, de acuerdo a estos resultados se estaría cumpliendo la condición de consistencia (ii).

Para testear la hipótesis nula de que las cuatro poblaciones de las cuales se extrajeron las cuatro muestras poseen idénticas medianas poblacionales fue utilizado el test (no paramétrico) de Kruskal-Wallis. Este test lleva a rechazar la hipótesis nula, lo cual estaría denotando una falta de consistencia entre los distintos enfoques.

Resumiendo los dos tests presentados, la evidencia no es concluyente acerca de si se cumple o no la condición de consistencia (ii).

## iii) Identificación de las mismas firmas como las “mejores” y “peores”

El triángulo superior de la matriz presentada en la tabla 4 muestra, para cada par de enfoques, la proporción de empresas que ambos enfoques simultáneamente ubicaban en el cuartil superior (13 empresas) <sup>(9)</sup>. Lo mismo pero para el cuartil inferior es mostrado en el triángulo inferior de la tabla. Vale la pena resaltar que si la proporción fuese provocada por el azar, se esperaría que la correspondencia fuese de un 25%.

Tabla 4

Enfoque	DEA-C	DEA-V	FPD	FPE
DEA-C		0.828	0.773	0.773
DEA-V	1.000		0.759	0.759

FPD	0.615	0.615		1.000
FPE	0.615	0.615	1.000	

Estos resultados parecen implicar el cumplimiento de la condición de consistencia (iii). La ventaja de saber si los distintos enfoques son consistentes en cuanto a la identificación de las mejores y peores prácticas observadas, es que, aún en el caso en que no se cumpliera con las dos primeras condiciones de consistencia, sería posible la utilización de un mecanismo como el empleado por la OFWAT (organismo regulador del sector agua en el Reino Unido), publicando los rankings de eficiencia en la prensa como un premio o castigo publicitario hacia las empresas.

#### iv) Consistencia con otras medidas de performance

Los indicadores de productividad parcial, aunque teóricamente inferiores a las fronteras de eficiencia, son utilizados como complemento de los estudios de frontera. A continuación, se presentan los indicadores de performance utilizados para analizar la condición de consistencia (iv):

Tabla 5

Indicador	Media	Desvío	Máximo	Mínimo	Muestra
MWh/ Empleado	9866	34818	254591	788	53
Cientes/ empleado	1245	1966	14684	359	53

La tabla 6 muestra las correlaciones entre los dos indicadores de productividad parcial y las medidas de eficiencia de los cuatro enfoques utilizados (la correlación entre los dos indicadores de productividad parcial es de 0.956).

Tabla 6

Enfoque	MWh/empleado	Cientes/empleado
FPD	0.070	0.260
FPE	0.101	0.297*
DEA-C	0.188	0.247
DEA-V	0.156	0.203

\* correlación significativamente distinta de cero a un nivel del 5%, dos colas.

\*\* correlación significativamente distinta de cero a un nivel del 1%, dos colas.

La condición de consistencia externa requiere que las medidas de eficiencia generadas por los distintos enfoques se encuentren positivamente correlacionadas con las medidas de productividad parcial, aunque las correlaciones deben encontrarse bastante lejanas de cero ya que estas últimas no controlan por la presencia de variables ambientales y otros insumos (Bauer et al., 1998). De acuerdo a lo observado en la tabla 6, la condición de consistencia (iv) se estaría cumpliendo ya

que todas las correlaciones son positivas y distintas de la unidad. Asimismo, se puede observar que las correlaciones tienden a ser más altas cuando se utiliza, para construir los indicadores de productividad parciales, a los clientes como producto (el mismo producto que en las estimaciones de fronteras).

## **VII. Conclusiones**

En el presente trabajo se realizó una comparación internacional de la eficiencia relativa de las empresas del sector de distribución de energía eléctrica. Para ello se recurrió a distintas metodologías que permitieron construir diversos rankings de eficiencia, sobre los cuales se practicó un análisis de consistencia. Dicho análisis muestra que, en líneas generales, los distintos enfoques son consistentes en sus medias, rankings y distinción entre las mejores y peores prácticas observadas (consistencia interna entre los enfoques). Asimismo se cumple la condición de consistencia externa; es decir, existe una correlación positiva entre las diversas medidas de eficiencia y los indicadores de productividad parcial usualmente empleados para medir la performance de las firmas.

Este tipo de trabajo pone de relieve la importancia de contar con bases de datos homogéneas para los distintos países a fin de poder efectuar las comparaciones. En este sentido, es importante resaltar la labor de la Comisión de Integración Eléctrica Regional (CIER), con cuyos datos se elaboró el presente artículo.

De cara al futuro, sería fructífero realizar un relevamiento periódico de los datos, a fin de poder contar con una base de datos que permitiese realizar un seguimiento de la evolución en el tiempo de la eficiencia relativa de las empresas del sector.

## NOTAS

- (1) En este contexto, el problema de azar moral se da cuando el contrato entre el principal (el regulador) y el agente (las firmas) le brinda al agente incentivos para realizar menos esfuerzo del que es óptimo.
- (2) Siguiendo a Neuberger (1977), la elasticidad de escala estará dada por el impacto proporcional que tengan sobre el nivel de producto, los cambios de los insumos y las variables que denotan las características operativas de cada firma (las  $Z$ ). Existirán economías de escala si  $(\sum \gamma_i + \sum \beta_i) > 1$ .
- (3) A conocimiento de los autores, el trabajo de Pollit (1995) es el primero que intenta una comparación internacional en el sector de distribución de energía eléctrica.
- (4) Algunos datos faltantes en el caso de las empresas de Argentina fueron completados con información de la base de datos del CEER.
- (5) En el caso de empresas integradas (o con más de una función), se ha aislado la función de distribución.
- (6) La variable VENTAS fue calculada como Ventas Totales menos Ventas a Otras Empresas Eléctricas. La variable CLIENTES se tomó como Clientes Totales menos Otras Empresas Eléctricas. Se buscó así aislar la actividad de distribución en el caso de las empresas integradas.
- (7) Factor de carga se define como Demanda Media Anual (MW) dividido Demanda Máxima Anual (MW).
- (8) Olson, Schmidt y Waldman (1980) utilizaron el método de Monte Carlo para examinar las ventajas relativas de los distintos métodos de estimación. Máxima verosimilitud (MV) resulta más eficiente que MCC modificados (MCCM) cuando la muestra es mayor que 400 (aunque MCCM es superior en la estimación de los parámetros de pendiente), mientras que MCCM tiene ventajas sobre MV cuando la muestra es menor que 200. Dado que en este trabajo se dispone de una muestra menor que 200, se ha utilizado MCCM para estimar la frontera de producción.
- (9) Dado que el modelo DEA-C tenía 22 empresas ubicadas en el ranking 1, y el modelo DEA-V, 29 empresas, no se pudo tomar estrictamente el cuartil superior.

## Referencias

- Aigner, D., Lovell, C. y Schmidt, P. (1977): *Formulation and estimation of stochastic frontier production function models*, Journal of Econometrics, Vol. 6.
- Ali, A.I. y Seiford, L. (1993): *The mathematical programming approach to efficiency analysis*, en Fried, H., Lovell, C. Y Schmidt, S. (1993): *The Measurement of Productive Efficiency*,
- Bauer, P., Berger, A., Ferrier, G. y Humphrey, D. (1998): *Consistency conditions for regulatory analysis of financial institutions: a comparison of frontier efficiency methods*, Journal of Economics and Business, 50.
- Burns, P. y Weyman-Jones, T. (1996): *Cost functions and cost efficiency in electricity distribution: a stochastic frontier approach*, Bulletin of Economic Research, 48:1.
- Charnes, A., Cooper, W. Y Rhodes, E. (1978): *Measuring the efficiency of decision making units*, European Journal of Operational Research, 2 (6).
- CIER (1996): *Datos estadísticos. Empresas eléctricas. Año 1994*, Comisión de Integración Eléctrica Regional, Secretaría General, Montevideo, Uruguay, Octubre 1996.
- Drake, L. y Weyman-Jones, T. (1996): *Productive and allocative inefficiencies in U.K. building Societies: a comparison of non-parametric and stochastic frontier techniques*, Manchester School of Economics and Social Studies, 64, Marzo.
- Farrell, M. (1957): *The measurement of productive efficiency*, Journal of the Royal Statistical Society, Series A, Part III, Vol. 120.
- Greene, W. (1990): *A gamma-distributed stochastic frontier model*, Journal of Econometrics, 46.
- Hjalmarsson, L. y Veiderpass, A. (1992): *Efficiency and ownership in Swedish electricity retail distribution*, Journal of Productivity Analysis, 3.
- Huettnner, D. y Landon, J. (1977): *Electric utilities: scale economies and diseconomies*, Southern Economic Journal, 44.
- Meeusen, W. y van de Broeck, J. (1977): *Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error*, International Economic Review, Vol. 18, No. 2, Junio.
- Neuberg, L. (1977): *Two issues in the municipal ownership of electric power distribution systems*, Bell Journal of Economics, 8.
- Olson, J., Schmidt, P. y Waldman, D. (1980): *A Monte Carlo study of estimators of the stochastic frontier production function*, Journal of Econometrics, Vol. 13.
- Pollitt, M.(1995): *Ownership and performance in electric utilities: the international evidence on privatization and efficiency*, Oxford University Press.
- Ray, S. y Mukherjee, K. (1995): *Comparing parametric and nonparametric measures of efficiency: a reexamination of the Christensen-Green data*, Journal of Quantitative Economics, Vol 11, No. 1, Enero.
- Schmidt, P. y Sickles, R. (1984): *Production frontiers and panel data*, Journal of Business & Economic Statistics, Octubre.

Seiford, L. Y Thrall, R. (1990): *Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis*, Journal of Econometrics, 46.

Weyman-Jones (1992): *Problems of yardstick regulation in electricity distribution*, en Bishop, Kay y Mayer (1995): *The regulatory challenge*, Oxford University Press.

Yunos, J. y Hawdon, D. (1997): *The efficiency of the national electricity board en Malaysia: an intercountry comparison using DEA*, Energy Economics, 1997.

### Serie Textos de Discusión CEER

Para solicitar alguno de estos documentos o suscribirse a toda la Serie Textos de Discusión CEER, vea las instrucciones al final de la lista.

STD 1. Laffont, Jean Jacques: Llevando los principios a la práctica en teoría de la regulación (marzo 1999)

STD 2. Stiglitz, Joseph: The Financial System, Bussiness Cycle and Growth (marzo 1999)

STD 3. Chisari, Omar y Antonio Estache: The Needs of the Poor in Infrastructure Privatization: The Role of Universal Service Obligations. The Case of Argentina (marzo 1999)

STD 4. Estache, Antonio y Martín Rossi: Estimación de una frontera de costos estocástica para empresas del sector agua en Asia y Región del Pacífico (abril 1999)

STD 5. Romero, Carlos : Regulaciones e inversiones en el sector eléctrico (junio 1999)

STD 6. Mateos, Federico: Análisis de la evolución del precio en el Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina entre 1992 y 1997 (julio 1999).

STD 7. Ferro, Gustavo: Indicadores de eficiencia en agua y saneamiento a partir de costos medios e indicadores de productividad parcial (julio 1999)

STD 8. Balzarotti, Nora: La política de competencia internacional (septiembre 1999)

STD 9. Ferro, Gustavo: La experiencia de Inglaterra y Gales en micromedición de agua potable (septiembre 1999)

STD 10. Balzarotti, Nora: Antitrust en el mercado de gas natural (octubre 1999)

STD 11. Ferro, Gustavo: Evolución del cuadro tarifario de Aguas Argentinas: el financiamiento de las expansiones en Buenos Aires (octubre 1999)

STD 12. Mateos, Federico, Martín Rodríguez Pardina y Martín Rossi: Oferta y demanda de electricidad en la Argentina: un modelo de ecuaciones simultáneas (noviembre 1999)

STD 13. Ferro, Gustavo: Lecciones del Seminario Proyección de Demanda de Consumo de Agua Potable (noviembre 1999)

STD 14: Rodríguez Pardina, Martín y Martín Rossi: Medidas de eficiencia y regulación: una ilustración del sector de distribuidoras de gas en la Argentina (diciembre 1999)

STD 15: Rodríguez Pardina, Martín, Martín Rossi y Christian Ruzzier: Fronteras de eficiencia en el sector de distribución de energía eléctrica: la experiencia sudamericana (diciembre 1999)



CEER Working Paper Series

To order any of these papers, or all of these, see instructions at the end of the list.

---

WPS 1. Laffont, Jean Jacques: Translating Principles Into Practice in Regulation Theory (March 1999)

WPS 2. Stiglitz, Joseph: Promoting Competition in Telecommunications (March 1999)

WPS 3. Chisari, Omar, Antonio Estache, y Carlos Romero: Winners and Losers from Utility Privatization in Argentina: Lessons from a General Equilibrium Model (March 1999)

WPS 4. Rodríguez Pardina, Martín y Martín Rossi: Efficiency Measures and Regulation: An Illustration of the Gas Distribution Sector in Argentina (April 1999)

WPS 5. Rodríguez Pardina, Martín Rossi and Christian Ruzzier: Consistency Conditions: Efficiency Measures for the Electricity Distribution Sector in South America (June 1999)

WPS 6. Gordon Mackerron: Current Developments and Problems of Electricity Regulation in the European Union and the United Kingdom (November 1999)

**Centro de Estudios Económicos de la Regulación**



**Solicitud de incorporación a la lista de receptores de publicaciones del CEER**

Deseo recibir los ejemplares correspondientes a la serie (marque con una cruz la que corresponda), que se publiquen durante 1999:

- |                                 |               |                           |
|---------------------------------|---------------|---------------------------|
| a) Working Papers Series        | (...) impreso | (...) e-mail, formato pdf |
| b) Serie de Textos de Discusión | (...) impreso | (...) e-mail, formato pdf |

Mi nombre es:.....

Ocupación:.....

Domicilio:.....

.....

.....

Firma

Tenga a bien enviar esta solicitud por correo a:

SECRETARIA CEER  
Chile 1142, 1° piso  
1098 Buenos Aires  
Argentina

Por fax, al 54-11-43797588  
E-mail: ceer@uade.edu.ar